

峡谷建坝枢纽布置 及消能防冲译文集

水利水电科学研究院水力学研究所译

水利电力出版社

峡谷建坝枢纽布置 及消能防冲译文集

水利水电科学研究院水力学研究所译

水利电力出版社

内 容 提 要

1982年5月巴西大坝委员会在里约热内卢召开了“峡谷建坝枢纽布置国际学术讨论会”，参加会议的国家有巴西、美国、印度、法国、葡萄牙等。会议论文集共收集了29篇论文。本书选译了其中的12篇，另外又增加了两篇有关文章，一篇是关于高速水流通气槽方面总结性的文章，一篇是西班牙的窄缝式消能工。

全书的主要内容为：峡谷建坝的施工导流，坝型选择，峡谷河道泄洪建筑物的布置及体形设计，消能工设计准则，消能防冲的试验研究及原型运行特性等。本书可供水利水电设计、施工、科研及运行管理等部门的技术人员及有关高等院校师生参考。

本书由水利水电科学研究院水力学研究所译、校。全书由李桂芬、章福仪复校整理，最后由覃修典、陈椿庭进行了审阅。

208/08

峡谷建坝枢纽布置及消能防冲译文集 水利水电科学研究院水力学研究所译

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 9.5印张 214千字

1983年12月第一版 1983年12月北京第一次印刷

印数 0001—3890册 定价 1.15元

书号 15143·5267

目 录

近坝厂房型式和位置的选择.....	(1)
大型溢洪道消能工的设计.....	(11)
西班牙阿尔曼德拉水电枢纽的泄洪建筑物.....	(30)
溢洪道自由射流的消能及其水工模型研究的基础.....	(38)
100米高坝的溢洪道及底孔	(45)
拉克瓦坝溢洪道的布置.....	(54)
峡谷地区溢洪道下游集中水流的消能.....	(65)
狭窄河谷中莫西罗克坝的布置.....	(73)
阿富汗萨尔马坝泄槽溢洪道的模型研究.....	(85)
卡博拉—巴萨坝溢洪道设计、水力学模型试验及原型状况.....	(97)
窄谷建坝的一些水工结构特性.....	(105)
钦古坝的消能系统.....	(117)
高速水流通气的原型及室内试验.....	(127)
峡谷河流的导流工程.....	(141)

近坝厂房型式和位置的选择*

[印度] H.R.沙尔马 P.拉金德拉恩

提 要

本文讨论了在狭窄的河谷中,靠近混凝土坝和填筑坝的厂房型式和可能的位置。严格地探讨了坝址区的地形和地质、区域地震、开挖边坡的稳定性以及滑坡可能性等因素对最终选定厂房布置和位置的影响。文中列举了一些例子来说明各种参数对厂房位置和型式选择的影响。本文为狭窄河谷中确定厂坝最优布置型式提供了一个概括准则,供规划、设计人员参考。

一、引 言

水电枢纽大致可以分为两类,即径流式电站和有调蓄水库的电站。径流式电站几乎没有调节库容,其可供调节的库容通常只能满足当日负荷的变动。与此相反,在有调蓄水库的电站中,当来水量超过用水量时,可存蓄多余的水供缺水时利用。径流式电站的发电水头是由山区河流裁弯取直或跨水系引水发电所形成的。反之,在有调蓄水库的电站中,水头主要由建坝形成。狭窄河谷为采用有调蓄水库的电站提供了一个极好的机会。在坝的最优位置确定后,可根据发电水头和若干其它技术和自然条件来决定电厂的可能位置,它可能离坝很近,也可能离坝很远。本文仅讨论电厂靠近大坝的布置,并把这种厂房布置方式称为近坝厂房。

二、近坝厂房的型式

近坝厂房可以完全暴露在地面上,也可以完全(或部分)在地下或者完全(或部分)置于坝体内部。厂房型式的最后选择是由以下因素决定的:①坝区的地形、地质;②地震活动的可能性;③安全条件;④坝型;⑤经济条件。

三、近坝厂房的位置

地面厂房可以位于混凝土坝或圉工坝坝趾附近,或者在土石坝下游一个合适的台地上。位于混凝土坝趾附近的厂房,还取决于所采用的消能布置型式。如果在一岸适当地开挖山坡后,仍没有足够的场地,厂房就可以分成两部分建造(两岸各放一厂房)。也有一

* 刘永川译,章福仪、朱荣林校。

些把厂房布置在坝身内的例子，以便为布置厂房而不对岸坡进行开挖。

四、选择厂房位置和型式的主要因素

1. 地形

(1) 当打算把厂房建在地面时，地形即坝址的地貌特征对工程总造价的影响可能相当大。在狭窄河谷，由于岸坡非常陡，厂房基面稍微降低一点，可能增加相当大的开挖量。此外，坡脚开挖影响岸坡的稳定。由于破坏了植被使边坡不稳定问题更趋恶化。因此开挖山坡后可能为稳定岩石边坡而要求进行大量的处理。

(2) 近坝厂房的枢纽布置中，必须仔细研究使开挖量减少到最低限度。把厂房平行河道布置，虽可最大限度地满足上述要求，但对狭谷中输水道的布置可能带来新的问题。例如输水道可能需要急转弯从而既增加了水道长度又增加了水力损失。在详细地进行技术经济分析后可知，由于安装间的基础开挖面要比厂房高得多，如果厂房的轴线能平行于坝轴线，安装间就可以布置在厂房内邻近岸边的一端，因此可以减少开挖而具有优越性(图1，图2)。在契尔凯(chirkey)水电站中，四台机组采用两前两后的布置^[1]，

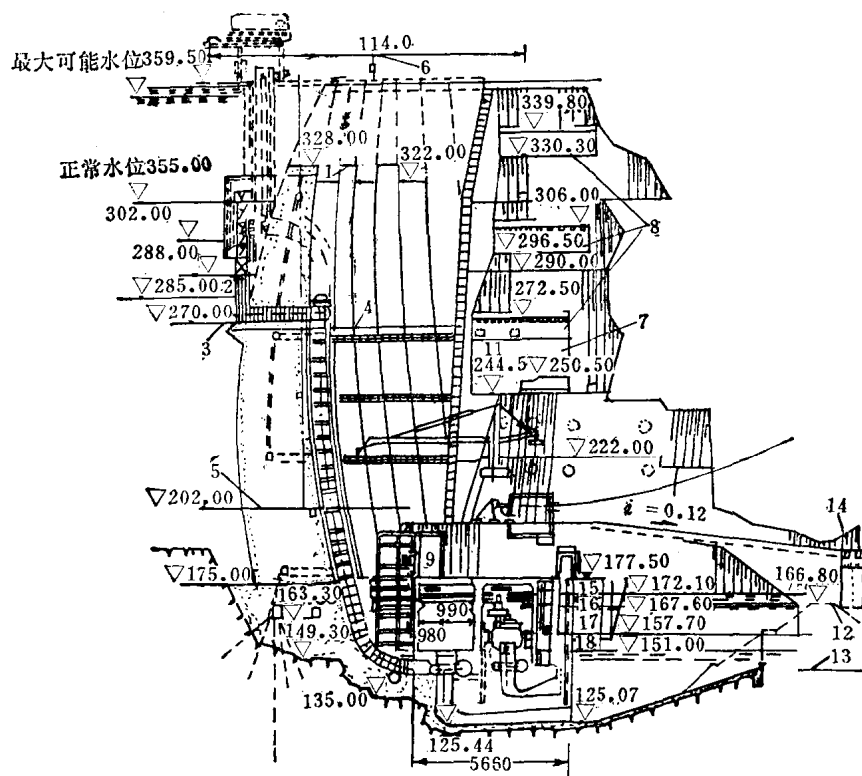


图1 通过坝和厂房的横剖面

1—第一台机组投入运行时的坝顶；2—第一台机组投入运行时的库水位；3—临时进口；4—1974.1.1的坝顶；5—1973.1.1的坝顶；6—25吨钢丝绳起重机挂钩；7—混凝土块支撑；8—岩石锚固系统的外部横梁；9—320/32+5吨起重机；10—水力起重机支架；11—BK-1000塔式起重机；12—下游围堰轮廓；13—苏拉克河床；14—桥；15~18—千年(3050)、万年(2100)、二十年(680)和年平均(170米³/秒)流量的相应水位

这种巧妙的布置使开挖量减至最少。

(3) 布置地面或半地下式厂房时, 地表浅层出现好岩石是一个明显的优点。在冲积层中可以采用筏形基础。

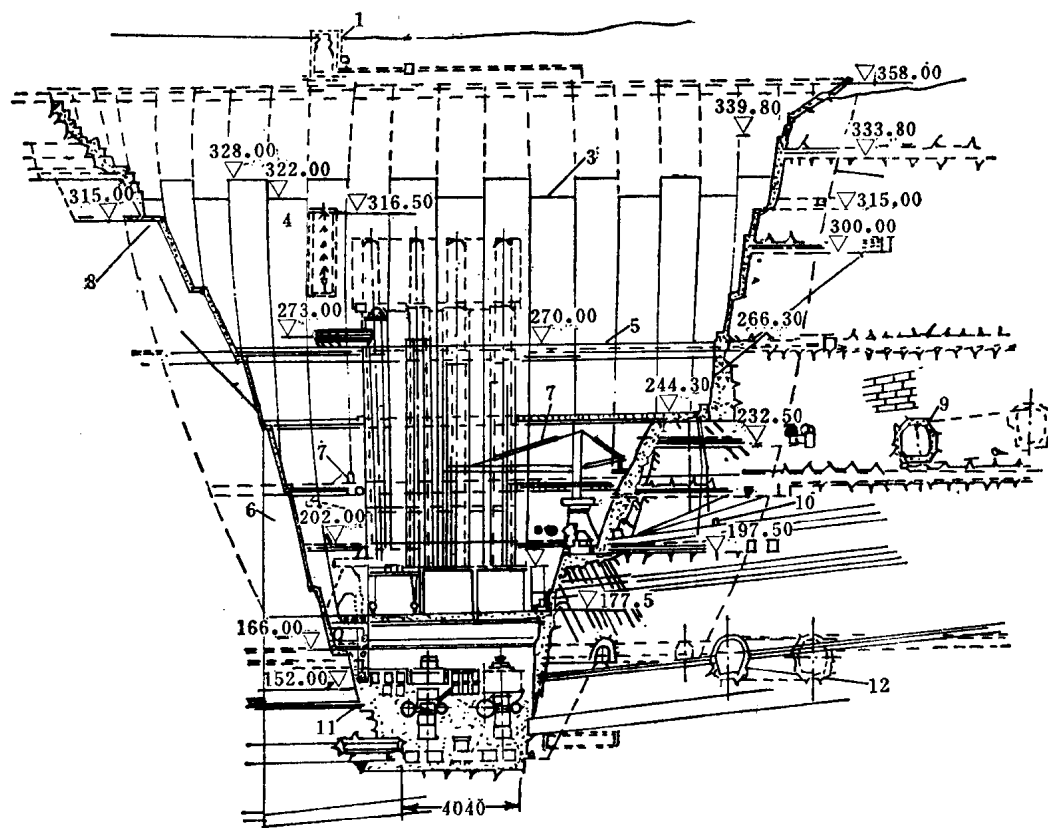


图 2 从下游面上视的坝和厂房横剖面

1—25吨钢丝绳起重机, 2—拱座, 3—第一台机组投入运行的坝顶高程, 4—水力起重机支架, 5—1974.1.1的坝顶, 6—1973.1.1的坝顶, 7—BK-1000塔式起重机, 8—锚固廊道, 9—正常溢洪道, 10—排水廊道, 11—污水廊道, 12—导流隧洞

(4) 剪切断层带、节理的产状和岩床的倾斜方向对厂房的定位有很大的影响。由于布置厂房和它的附属设备所需要的空腔相当大, 它的稳定性可能成问题, 所以上述因素对于地下厂房来说更为重要。

2. 区域地震

地震活动会引起各种问题。在软基上由于基础液化, 地震将导致大面积破坏。地面厂房可能遭受由于地面摆动而引起的巨大的横向力。安设在地面上的管道、电缆、压力钢管等, 需要特别保护, 以保证安全, 防止由于不均匀的地面运动而引起的破坏。对于深层地下厂房, 地震引起的问题将大为减少。地震也会引起开挖边坡不稳定而发生滑坡。狭窄河谷的岸坡一般都很陡, 塌方量是相当惊人的。

3. 施工设备

在狭窄的山区, 水力发电工程建设的基本特点是施工场地非常狭窄。在窄小的工作场

地上，不同的施工单位协力进行各种类型的施工，并且还要放置许多施工用的机械设备，这些都将受到严重的限制。甚至在坝址附近，也很少有可利用的平地。从厂房到设备库、废料场、办公室和其它有关地区的公路建设造价，都将取决于厂房本身的位置。

4. 其它因素

(1) 如果计划开发的水电工程是在国境线附近或者其它重要的地方，那么设备的安全需要特别注意。环境和生态学的因素对电站位置也有很大关系。环境保护和保存风景区，特别是枢纽还要发展成旅游点时，对工程造价有很大的影响。

(2) 在考虑了控制选择厂房型式（地面、地下和半地下）的因素后，必须结合坝型探讨可能的厂房位置。

五、坝 型

1. 混凝土坝

(1) 混凝土坝可以是直线型重力坝或者是拱坝。在这两种情况下，消能工的类型将影响地面厂房的位置。如果消能采用水跃消力池型式，那么厂房可用隔墙分开后放在消力池的一侧或两侧，这取决于厂房的总尺寸及相对的开挖量和混凝土量。由于峡谷中坝趾处可利用的场地有限。也可以像美国韦尔斯水电工程^[2]那样，把厂房设置在溢洪道内。

(2) 另一方面，如果是滑雪式挑流岸消能，厂房可布置在挑坎的下边。这种布置已成功地在法国的鹰坝（L'Aigle）工程和夏斯坦（Chastery）工程上使用过，并为土耳其的卡拉卡耶（Karakaya）水电工程所采用。

2. 土坝或堆石坝

(1) 如果水库的大坝是土坝或堆石坝，并且用泄洪隧洞来泄洪，那么厂房可以设置在坝趾处。由于泄洪隧洞把水泄到坝下游足够远的地方，尾水波动将大为减小。这种布置已用于苏联的齐尔基（Chirkey）水电工程，美国的兰色台地工程^[3]，格陵峡等工程^[4]。

(2) 印度尼西亚的查蒂卢胡尔工程^[5]提出一个有趣和创新的厂房布置。大坝为堆石坝。在坝趾处，峡谷窄得在坝趾布置不下厂房。起初建议把厂房置于地下，由于隧洞在粘土岩中掘进时，遇到比预期更大的困难而不得不放弃了这一方案。因此，6台机组的厂

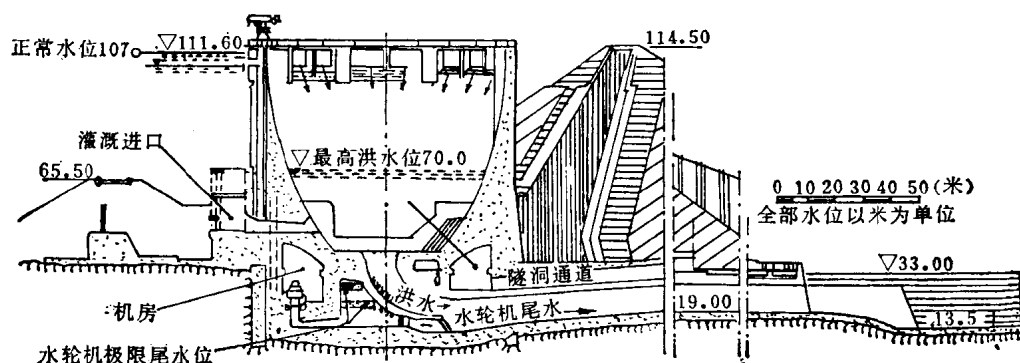


图 3 圆形电站剖面图

房布置在一个垂直的圆筒内，机组在平面上布置成圆形。这个圆筒(高110米，直径90米)是坝身的一部分。圆筒还设计成可排泄尾水、泄洪和泄放下游灌溉用水(图3、图4)。

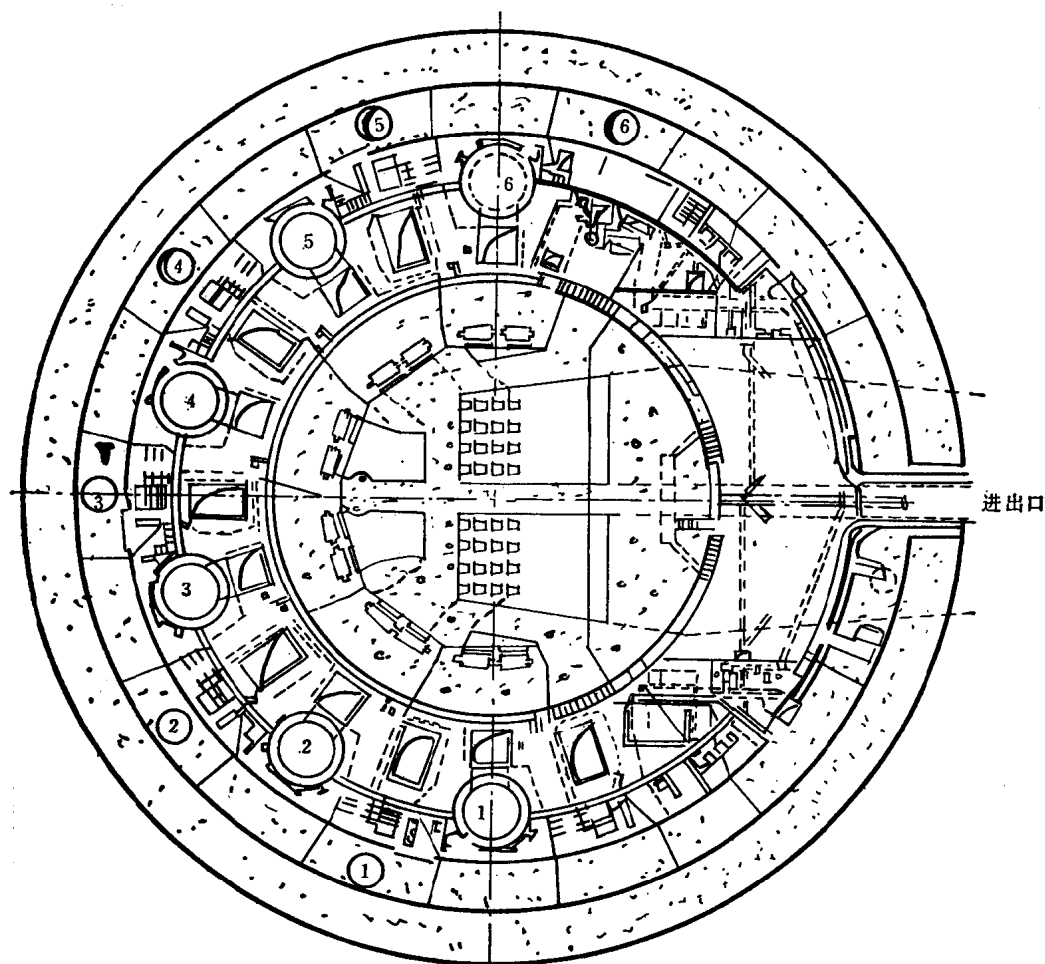


图 4 圆形厂房平面布置

六、隐蔽式厂房

把厂房布置于混凝土坝体内被称为隐蔽式厂房。一般说来，这种布置只能用于小型机组，因为大型机组要求大的空腔，而大的空腔将引起坝体的不稳定。

七、地下厂房

为了布置钢管和输送尾水，地下厂房需要开挖隧洞。通常厂房要求的空腔是很大的。空腔顶部支撑建筑物的造价在很大程度上取决于岩层地质。一般空腔轴线的方位最好是垂直于层理面的走向。这种定位减少了超挖从而降低了支撑系统的造价。另一方面，这种定位可以使钢管轴线和尾水隧洞轴线基本上平行于层里面的走向。因此电厂轴线的定位和钢

管、尾水隧洞轴线的定位，需要慎重地反复比较。一个单独的空腔是否足以容纳机组、阀室及操作廊道的通风管，岩石的质量和它地质特征起着决定性的作用。对于一系列大空腔的稳定性研究值得注意。地下厂房的布置可使得电厂尾水不受溢洪道泄流的影响。地震活动对厂房的影响很小。从防空的观点来看，最好是地下厂房。在狭谷河道中设计大型水电站时，由于地表没有足够的场地容纳全部机组，在许多情况下只得采用地下厂房。

八、地 面 厂 房

在狭窄的河谷中，由于可利用的宽度受到限制，只有当机组数量不多时，厂房布置在坝趾或接近坝趾的地方才是经济合理的。岸坡稳定、环境保护、风景区的保存等问题也必须认真考虑。地震活动直接影响着厂房的设计，还影响着陡坡的稳定，以至必须对厂房作昂贵的预防性保护措施。地下厂房的施工与大坝等的施工互相不干扰。地面厂房的施工程序则和枢纽的大坝及其它附属建筑物的施工有很大关系。

九、实 例 分 析

1. 例 1

(1) 印度的一个工程设计报告中，建议将厂房设置在混凝土坝坝址处的滑雪式挑流

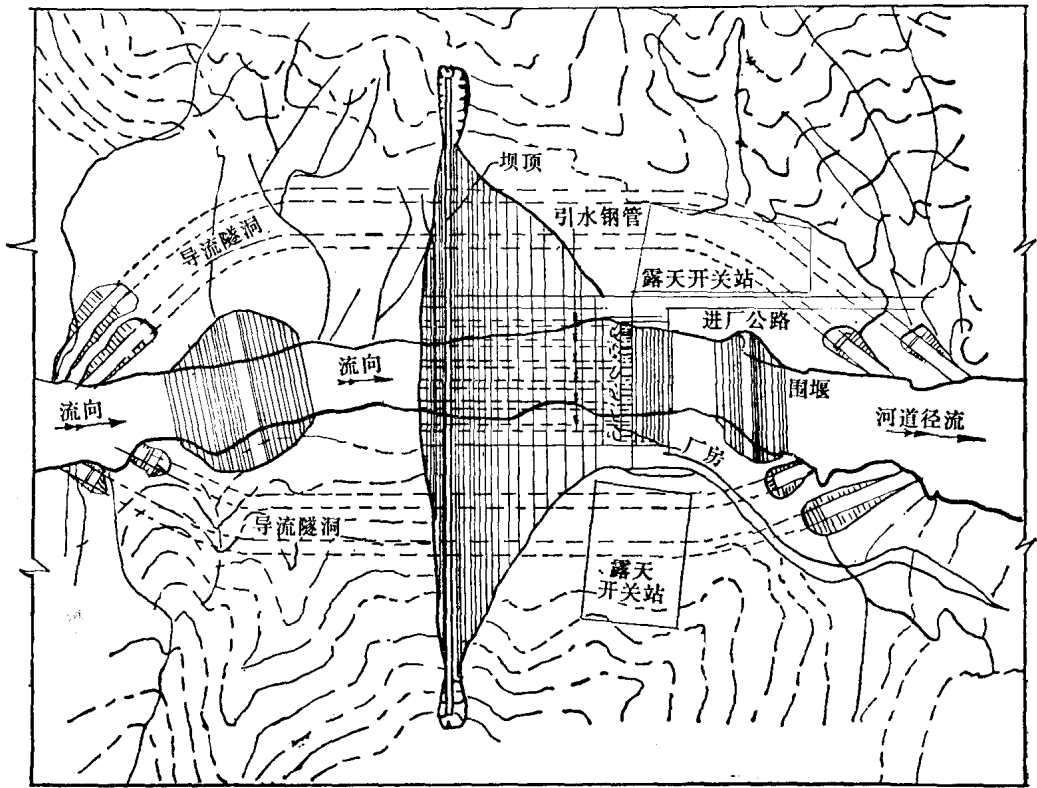


图 5 例 1 的总平面图

鼻坎下面(图5、图6), 厂房布置了6台50万千瓦的机组。基岩主要由石英岩组成, 有少量的其它岩层(如板岩、石英板岩, 钙质石英岩, 砾岩)。还有一些断层和剪切面通过这个地区, 因而岩石的节理裂隙和剪切发育, 存在渗漏问题。

(2) 269米高的大坝。从坝体内有大空腔对坝体的稳定性考虑, 坝内厂房方案是不合适的。这种布置还需要隧洞和其它孔口作为尾水及电缆廊道等的通路, 这将加剧了不稳定的问题。在河的两岸各设一地下厂房, 由于装设机组和闸室的大空腔的费用昂贵, 这个方案被放弃了。布置在一岸的地面厂房, 必须包括对地面以上大约100米高的陡坡开挖。因此, 从技术和经济上考虑, 建议把厂房放在溢洪道挑坎下面。机组已经选择了高转速的机型, 从而机组宽度和厂房尺寸可以缩减。

2. 例2

(1) 在喜马拉雅山锡瓦利克(*Siwalik*)山区的一个多目标工程, 水库由260.5米高的堆石坝所形成。有一个容量为200万千瓦(8×25 万千瓦)的厂房, 布置在左岸地下(图7、图8)。在坝址附近, 基岩由石英岩、千枚岩等组成, 节理发育。

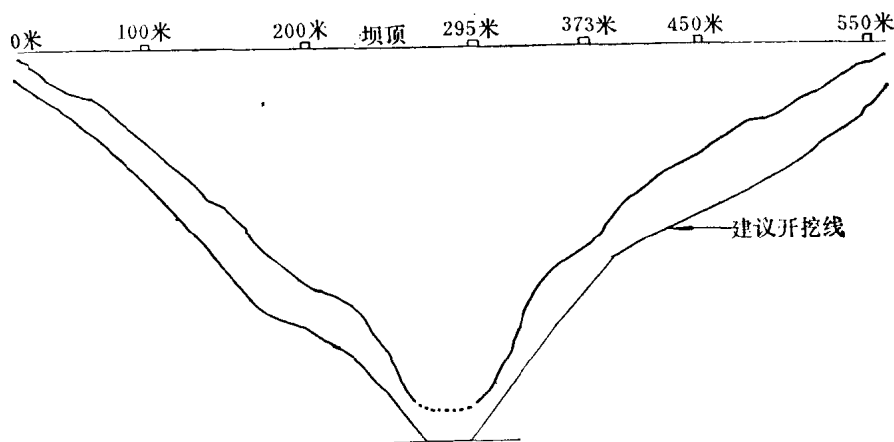


图7 例2的沿坝轴线横剖面

(2) 山谷断面具有约为 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 的陡坡。没有可供设置厂房的长250米、宽50米的台地。为修建这样一个台地, 开挖将影响陡坡的稳定, 并且还需要精心安排各种保护措施。由于厂房的尺寸大, 以及陡槽溢洪道泄放的流量最大值为 $12000 \text{米}^3/\text{秒}$, 可以预料它会造成很大的尾水波动。坝趾处设置厂房的方案也被取消了。因此势必采用地下厂房。

十、结 论

狭窄河谷中近坝式厂房的位置和型式的选择取决于地形、地质构造、区域地震、要求的施工设施、坝型和采用的消能方式及距国境线的远近等。在现有文献中, 狭窄河谷近坝式厂房的型式和位置的选择没有一个明确的标准可循。本文是在这方面的一种努力, 希望它能有益于设计和规划工程师以及与水电建设有关的工程师。

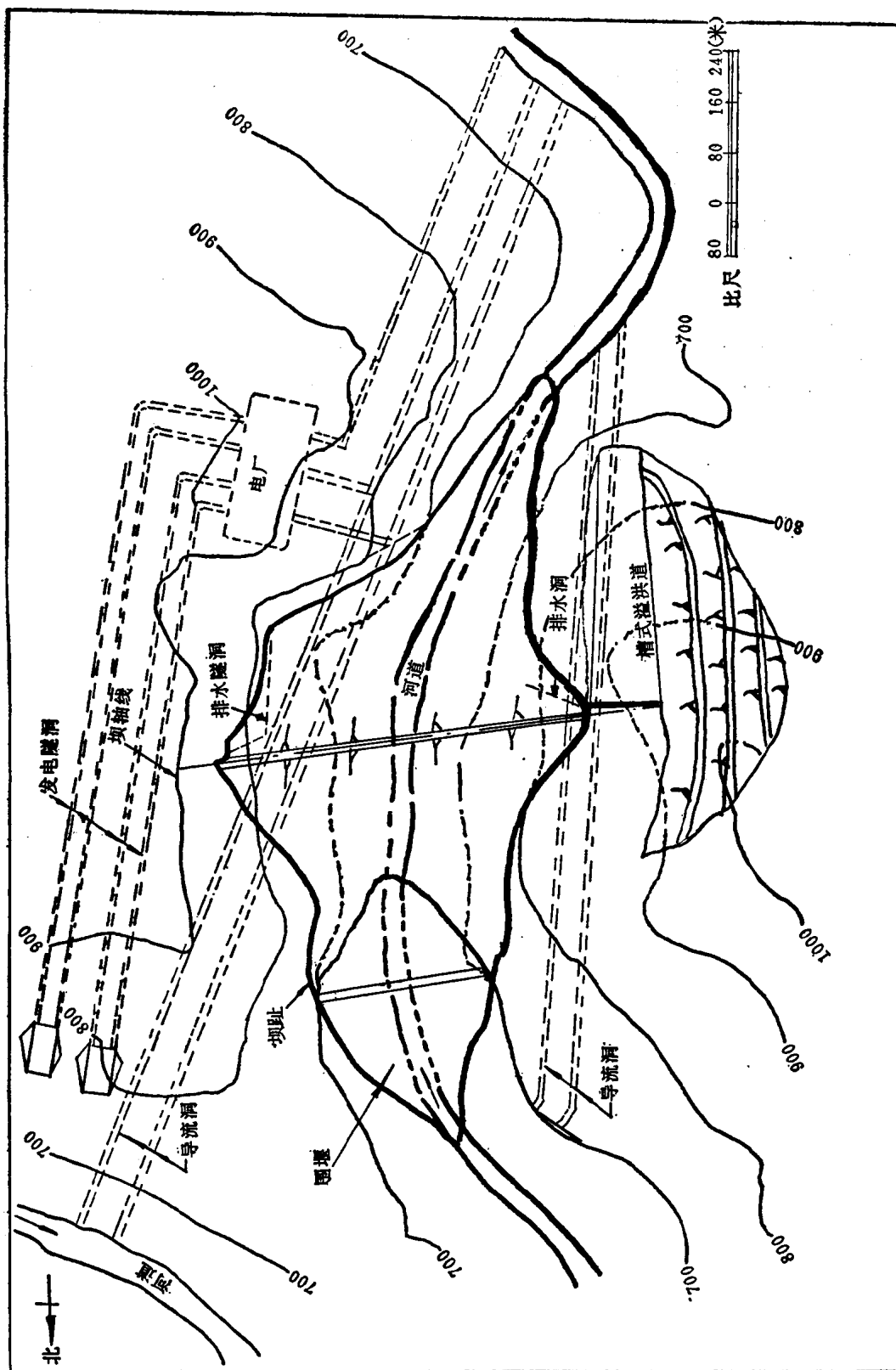


图 8 例 2 的工程平面图

参 考 文 献

- [1] Mitrushkin, N.V., Shnyrov. E. P., "The Chirkey Hydroelectric Plant"—A Project to be commissioned in 1974, Hydrotechnical Construction, Translated for the American Society of Civil Engineers, No.9. Sept. 1974. pp, 793-800.
- [2] James G. Patrick, "Development of Wells Hydroelectric Project", Journal of power Div. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 97, No. poz, Mar. 1971, p.270.
- [3] United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, U.S.A. "Blue Mesa Dam and Power Plant, Technical Record of Designs and Construction".
- [4] U. S. Depff. of Interior Bureau of Reclamation, U.S.A., "Glen Canyon Dam and Power Plant, Technical Record of Design and Construction".
- [5] Bohn, M., and Hamon. M., "The Djatilihur Project", Water Power, Vol. 19. No. 9 Aug. 1967, pp 305-315.

大型溢洪道消能工的设计*

[印度] K.N.希瓦圣卡拉·罗

提 要

世界各国都在研究大坝溢洪道的消能问题。目前的趋势是水利工程师们把研究消能问题作为充分施展他们研究潜力的领域。

目前,用我们在模型试验和分析中所得到的全部有关消能方面的经验,还不能使设计定型化以减少个别工程的模型试验。而且,专家们也没有对设计定型化作出真正的努力。

从这种观点出发,本文试图把两种戽式消能工(挑流戽和漩辊戽)定型化。为了提供一些基本素材及阐明消能工目前没有按合理方法设计,本文收集和整理了世界上140个溢洪道的资料。世界上现有大坝消能设备的结构尺寸资料,是定型化的基础。先分别研究各个要素,然后再综合归纳。设计中还有一些因素以前没有很好地讨论过,如戽唇在河床以上的高度。

本文提出了一些指导方针去协助设计,希望在设计中除特殊情况外,一般可不再要求做个别的模型试验。这些特殊情况在本文中也提及。

文中采用的符号:

F ——弗劳德数	R ——戽体的反弧半径
d_1 ——进口水深	h_2 ——戽底以上的尾水深
h_1 ——最高库水位与戽底的高差	h_L ——河床以上戽唇的高度
Y ——戽唇至下游水位的落差	H_v ——戽唇处射流的速度水头
ϕ ——戽唇挑角	v_1 ——射流流速
v_2 ——戽底流速	F_d ——流量参数 $= (q/\sqrt{gh_1^3})10^3$
D ——指定点的射流厚度	h ——从上游库水位起算的垂直距离
r_1 ——射流流线的半径	H_1 ——戽底以上的总有效水头
N ——消能率(吨·米/秒或马力)	V ——漩滚水体的体积(米 ³ 或英尺 ³)

一、引 言

溢洪道下泄的高速水流在进入天然河床以前,应使其流速减慢,为此采用了不同型式的消能设施。虽然消力池是最简单的一种消能设施,但由于戽式消能工有明显的经济效益,目前只要有可能就倾向于设置戽式消能工。

影响采用各种消能设施的诸多因素中,主要的是:①河床岩石的特性;②下泄流量;

* 靳国厚译,朱荣林校。

③水头；④出口型式；⑤坝址处河道的水位流量关系。

众所周知，没有两个坝的消能问题会完全一样，每个坝应根据各自的特点分别考虑。但是，对印度和世界一些地区已建大坝不同型式消能设施的研究，为各种型式消能工所适应的工作条件提供了综合归纳的基础。这样，人们就可以利用从其他建筑物建设中得到的经验。附录中列出了各坝的基础资料、溢洪道的流量和所采用的消能工型式。这些研究表明，消能工的设计不是基于合理的探讨，而是随设计人员的判断而变化的。

下面根据一些详尽的模型试验研究资料，和已建成的建筑物的资料，对其各部分体形的设计作了些归纳分析。从而得出了一些明确的设计准则，并对一些未解决的问题予以新的说明。

为方便起见，戽式消能工的设计可分成挑流戽和旋辊戽两个课题。

二、挑 流 戽

当尾水的深度不足以形成水跃，且下游河床由完整的岩石组成，有抵抗高速水流冲击的能力时，可优先选用挑流戽。从溢洪道下泄的水流向上挑射，然后直接跌落于远离建筑物的下游河床。挑流戽在美国称之为“Flip Bucket”，在欧洲称之为“Skijump Bucket”。由于它的简单和显著的经济效益，最近几年采用的越来越多。当尾水很深时，仍可采用保持戽底在较高位置的挑流戽。

挑流戽的设计包括以下内容：①戽体形状；②戽体的反弧半径；③戽底高程；④戽唇高程和挑角；⑤挑射距离。

1. 戽体形状

虽然依勒沃托夫斯基指出^[1]，抛物线型戽体可以在不增加结构物尺寸的情况下得到光滑水面，因此，在美国安克（Anchor）坝上采用了这种型式。但目前世界上一般采用圆弧型戽体。笔者在卡那塔克（Karnatak）工程试验研究站的研究结果表明^[2]，椭圆型戽体是最适宜的。以后将进一步研究尺寸的定型化问题。

2. 戽体的反弧半径

虽然可以用设计准则来确定反弧半径，但目前还没有确定戽体半径的合理公式。挑射距离和压力分布（图1）都受半径的影响。戽内水流保持为同心水流，流线分布不变化。目前采用的经验公式是格思里布朗^[3]、旭克列许^[4]、周文德^[5]、P.S. 瓦尔舍尼^[6]、瓦尔舍尼和巴佳^[7]、美国垦务局^[8]、K.N. 希瓦圣卡拉^[9]、ISI^[10]、拉简和K.N. 希瓦圣卡拉^[11]等提出的。比较了这些公式，并得出结论认为，K.N. 希瓦圣卡拉^[9]所提出的公式是最适宜的。这个公式是

1) 当入流的弗劳德数在3~5.5之间

$$R/d_1 = 11.534\sqrt{F} - 9.133F^{1/3} - 5.123 \quad (1)$$

2) 当入流的弗劳德数在5.5~10.0之间

$$R/d_1 = 4.0371F - 15.1906 \quad (2)$$

3. 库底高程

通常将库底高程保持在或接近于河床高程。印度的大部分设计中, 库底高程稍低于尾水高程, 这样在稳固的河床岩石上有一层2~3米厚的混凝土板, 以抵抗射流的冲击压力。如同鲁达卫斯基^[12]指出的, 库底高程是非常重要的, 因为尾水的影响不仅会改变水流条件, 而且可能导致库体完全破坏。

4. 库唇

库唇受到淹没而不影响挑射的界限, 尚无明确的设计准则。挑距 x 是设计中要考虑的主要问题之一。挑射距离受下列因素影响: ①射流的起始速度; ②挑角; ③库唇和尾水位之间的高差。

库唇的挑角一般小于 45° , 在这个挑角范围内, 出射角越大挑距越远, 但入水角也越大, 致使冲刷也更深。虽然, 美国垦务局建议的最大挑角为 30° ^[8], 但从表1可以总结为: 在大部分情况下, 挑角在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 之间。挑角的选择取决于当地岩石所允许的最小抛射距离。纳格罗尔^[13]、瓦尔舍尼和巴佳^[7]也提供了一些计算公式。

(1) 库唇型式: 如果库唇可能被淹没, 为了避免产生负压, 可用倾斜的库唇顶(一般向下游倾斜, 坡度为1:10)。在一些情况下, 它也可以是水平的。齿坎式库唇可以减少冲刷深度, 但冲刷范围有所增加。

(2) 库唇的高度: 实践中最高尾水位可以在库唇以上, 因此在小流量时, 水流在库内发生漩辊, 而在其他流量时则为射流。布朗得出了漩辊流的尾水下限值^[14]。吉尔哈特·罗沃提出了一组曲线用以检定产生射流时通过溢洪道的最小流量^[15]。科卡尔和克哈德舍里亚系统地研究了尾水淹没度对挑流库的影响^[16]。纳里·加特林等指出, 当尾水深与第二共轭水深的比值在0.76~0.95之间时, 挑射作用受到影响^[17]。显然这些提法是互相矛盾的。

K.N.希瓦圣卡拉根据原型观测得到确定库唇高度的算式, 它与已建成的大坝的资料相吻合^[18], 可以作为设计的最好指南

$$h_L/h_2 = 0.4055 - 6.455(h_2/h_1) + 35.65(h_2/h_1)^2 10^{-2} \quad (3)$$

5. 挑射距离

从库唇起算的水平射程 x 可用下式表示

$$x/H_y = \sin 2\varphi + 2\cos\varphi \sqrt{\sin^2\varphi + Y/H_y} \quad (4)$$

当库唇淹没时, 下面的表示式将更合理

$$x = V_1^2 \sin\varphi \frac{\cos\varphi}{g} + \sqrt{\sin^2\varphi - \frac{2ghL}{V_1^2}} \quad (5)$$

必须记住, 有效的起始挑射角比理论计算或模型试验的数值小。

6. 压力分布

有曲率的高速射流可对库体表面产生很高的动水压力。整个库底的压力变化是连续的。当尾水位升高超过库唇时, 压力趋向于按静水压力分布。然而, 在由抛射到漩辊作用的过渡阶段, 将有相当大的脉动压力。

① 原公式中缺 10^{-2} , 有误。——译者